

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高職組 土木科

第三名

最佳團隊合作獎

091202

不動如山-滑缸型抗震設備

學校名稱：國立岡山高級農工職業學校

作者：	指導老師：
職二 高明聖	全志仁
職二 吳敬恆	邱 玫
職二 梁懷蓉	

關鍵詞：抗震、全向滑輪、汽缸

摘要

『不動如山—滑缸型抗震設備』係將設備裝置於建築物基礎下方，利用鋼珠滾動無方向性及高強度、低摩擦力的特性設計出『全向滑輪』抵抗水平地震力的傷害，並使用雙向滑軌固定建築物的面向，設計出類似避震器之可自動充氣的汽缸抵抗垂直地震力，欲藉由以上方式使建築物遇到地震發生時也能原地不動如山。實驗結果顯示本抗震設備受到加速度 631.65 cm/sec^2 超過劇震強度時，建築物的位移量只有 0.1 公分幾乎呈現不移動狀態。若能將此設備裝置於不容許遭受晃動之醫院開刀房、軍火庫、化學工廠或高科技精密實驗室等地方，以創新技術有效阻隔各種形式地震力之破壞，可達到無感的境界，成為抗震設備最佳的方案選擇，確保人民生命財產的安全。

壹、研究動機

近年來地震災害頻傳，如 921 集集大地震（7.3 級）、日本 311 福岡大地震（9.0 級）及不久前發生的尼泊爾強震（7.9 級）等等，看著新聞播報中那滿目瘡痍的城市，在國人心中，無疑是投下了一顆顆的震撼彈。1999 年 9 月 21 日所發生的 7.3 級強震造成 2,415 人死亡，29 人失蹤，11,305 人受傷，51,711 間房屋全倒，53,768 間房屋半倒，乃台灣自二戰後傷亡損失最大的天災^{註 2}。當時的我們雖然只是個二歲大的幼兒，但隨著年齡增長，無論是從長輩、書籍或網路上聽到看到及親身遇到，處處都能感受地震災害的可怕（如圖 1 所示）。



圖 1 尼泊爾 7.8 強震後之慘狀^{註 1}

在高一工程概論第六章震動課程中得知：抗震結構之重要性與目前建築物常用的避震設備如鉛心隔震器、球型軸承、黏滯液體式阻尼器及台北 101 的阻尼球等，並瞭解到這些設備雖可幫助建築物削弱吸收地震力，但仍會產生不同程度的晃動，使建築物造成不同程度的損害。在經過汽車科看到一輛輛廢棄車後，萌生出何不嘗試將滑軌與汽缸原理形成避震器功能，就可同時吸收水平與垂直地震力，因此本研究動機以此為出發，希望能設計出一組讓建築物遇到地震力時仍『不動如山』的抗震設備，作為實驗研究方向。

希望藉由本次實驗，研發出可有效阻隔地震力的抗震設備，減輕建築物損壞程度，以確保生命財產安全，延長建築物之使用年限，在目前積極提倡智慧綠色建築的創新領域中，達到減少營建廢棄物量及提升安全舒適的生活環境，以符合智慧綠建築之永續宗旨。

^{註 1} 圖片來源：<http://www2.tvbstv.com/entry/577274>（達志影像／美聯社）

^{註 2} 數據資料來源：http://ppt.cc/r@_i 維基百科

貳、研究目的

根據網路統計資料顯示^{註3}，從 1999 年 9 月 21 日至 2015 年 4 月 20 日台灣發生規模 5.3~7.3 強震以上程度之地震多達 19 次，最令人印象深刻的莫過於 1999 年的 921 集集大地震，釋出的總能量是嘉義瑞里大地震的 40 倍，相當於三十顆廣島原子彈威力，全台灣皆能感受到強烈震度，造成多起房屋倒塌與意外事故，並引發嘉義以北大停電，各地接二連三傳出重要災情，持續不斷的餘震也讓人餘悸猶存。目前坊間有許多相關抗震、隔震、減震等設備，雖可降低建築物晃動幅度，但仍會造成屋內人員不安與恐慌的心情，本組欲研究可有效阻隔地震力並降為無感狀態，以確保民眾生命財產之安全，因此研發出『不動如山—滑缸型抗震設備』。

本研究並無相關標準規範，因此請教多位從事相關研究的師長、找尋書籍與網路等資料，建立客觀定量的實驗方法與試驗器材，欲達到之目的如下：

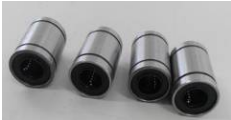
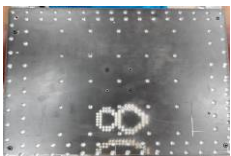
- 一、探討地震的成因、傳播方式與其相關性質，研究其對策。
- 二、透過本組的實驗設計確立實驗之可行性。
- 三、利用全向滑輪、雙向滑軌及可自動充氣的汽缸有效阻隔地震力之破壞。
- 四、研究有無加裝本組抗震設備之模型受軸向水平地震力時位移量的變化。
- 五、研究有無加裝本組抗震設備之模型受 45 度水平地震力時位移量的變化。
- 六、簡易評估討論本研究抗震設備之汽缸承載建築物重量與應用價值。

倘若本組研究的初步成果，能有效阻隔建築物模型受水平及垂直地震力擺幅的影響，當地震來臨時，建築物隨地震的晃動的擺幅會降至微乎其微，甚至於達到無感狀態，若能將此設備裝置於不容許遭受晃動之醫院開刀房、軍火庫、化學工廠或高科技精密實驗室等地方，將有極佳的效果，且在目前提倡智慧綠建築的營建環境中，本研究裝置能延長建築物之使用年限、減少營建廢棄物量及提升安全舒適的生活環境，相當具有獨特性與競爭性。

註3 數據資料來源：<http://ppt.cc/TwMVC>

參、研究設備與器材

表 1 本研究相關設備儀器彙整資料

名稱	圖片	用途	備註
線性軸承		欲加強固定建築物方向	數量：12 個
壓克力板		抗震設備主要構造之一	數量：4 片
鋼板		抗震設備主要構造之一	數量：1 片
止逆閥		欲使汽缸充氣並使氣體不外漏	數量：1 只
PE 圓棒		協助汽缸內鉛棒上下移動	數量：1 個
電鍍圓棒		欲加強固定建築物方向	數量：8 支 直徑：8mm
螺絲		固定零件用	數量：9 個
鋼珠		全向滑輪零件之一	數量：69 顆
CNC 銑床		切割壓克力及鋼板之用	數量：1 台

續上表 1

名稱	圖片	用途	備註
震動台		模擬不同規模之地震力	數量：1 台
鑽床		在壓克力板上鑽孔以放置軸承之用	數量：1 台
塑膠錘		輔助拆卸工具之一	數量：1 只
銼刀		磨平零件之用	數量：2 支
游標卡尺		量測零件尺寸	數量：1 個 量測長度最大最小值 Max：16cm Min：0.01cm
黃油		潤滑全向滑輪與汽缸之用	數量：1 罐
超黏乳膠		黏結零件之用	數量：1 瓶
AB 膠		黏結零件之用	數量：1 瓶
瞬間強力接著劑		黏結零件縫隙	數量：2 瓶

肆、研究過程與方法

一、研究流程圖

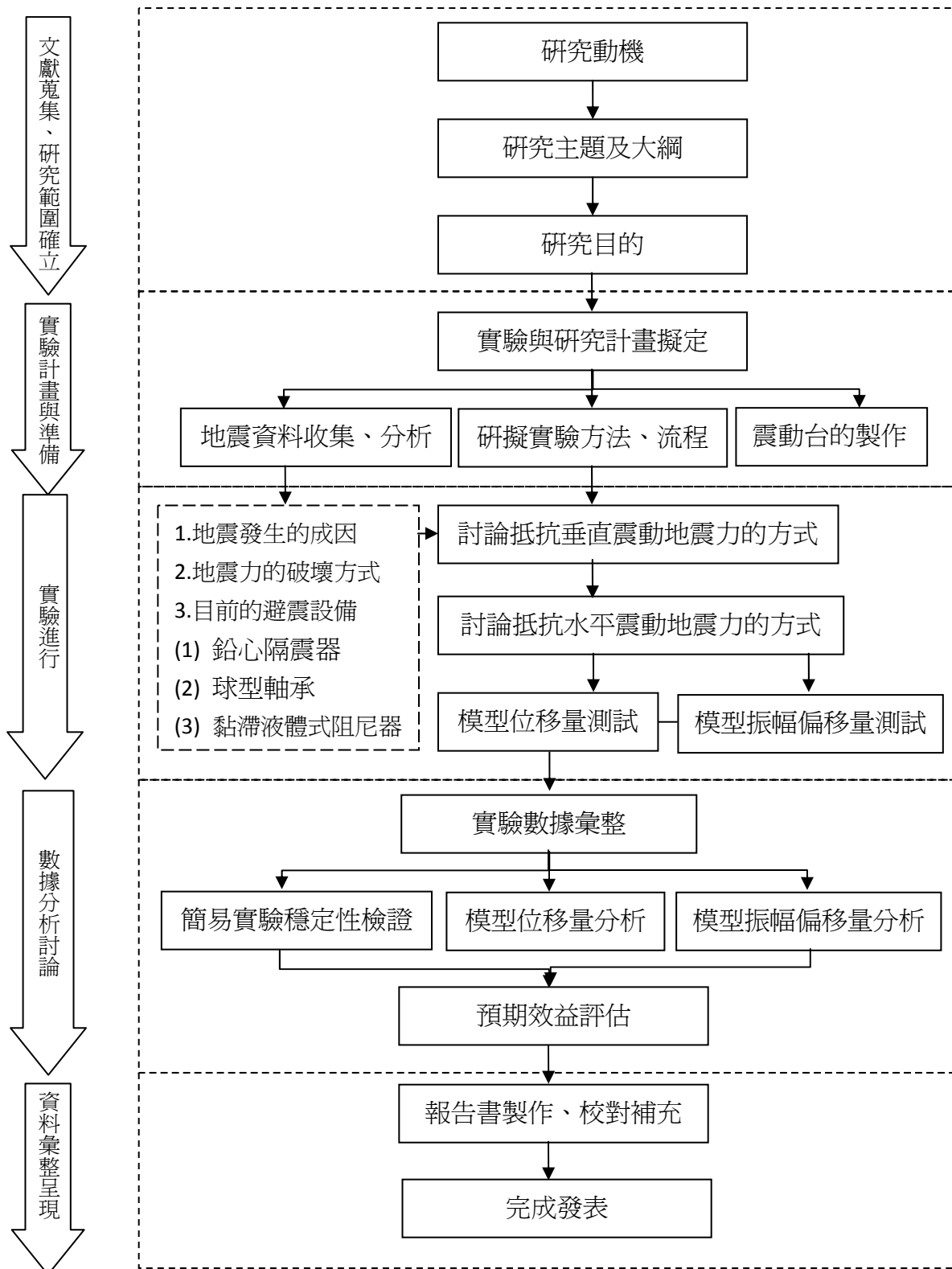


圖 2 研究流程圖

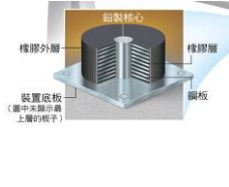
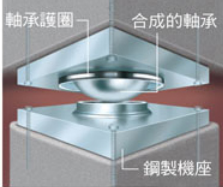
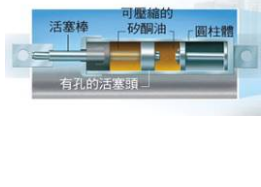
二、研究方法

除透過文獻回顧、資料蒐集與團體討論進行研究外，本組發現目前建築物常用的避震設備無法抵抗垂直地震力的破壞，於是針對地震力對建築物的破壞方式研究後找尋到解決方法，因此本研究方法分為兩部份做說明，第一部份說明本組設備如何解決地震力的破壞，第二部份說明主要的實驗設計。

第一部份：不動如山-抗震設備如何解決地震力的破壞

（一）目前建築物常用的避震設備

表 2 常用的避震設備

名稱 項目	鉛心隔震器	球型軸承	黏滯液體式阻尼器	阻尼球
原理	能削弱地震的剪力而減少毀壞，側面以一層層的橡膠取代，可以吸收橫向的運動，並將建築結構彈回原來的位置	滑動軸承以高強度、低摩擦、自動潤滑的材料所組成，讓建築物在地表晃動時，像鐘擺般緩緩地隨之搖擺	能抵消地表的震動，並減少樓層之間的位移，使建築物免於被扯裂。有孔的活塞頭能在矽酮油之中滑動，將地震所引起的機械能轉換成熱能而散逸	吸收大樓的振動，再將能量散發到下方的彈簧系統，平常只會擺動個幾公分，而擺盪時，阻尼裝置內的液體會穿過孔，藉此消散風的能量
優點	鉛製核心則可以穩住建築結構、防止因風而傾斜	軸承的半球體外形能分散建築物的重量以及搖晃時的剪力	有效的消耗地震能量，減低結構受地震影響	同時可解決高樓風及地震帶來大樓搖晃的危機
缺點	對垂直地震力較無幫助，對遠方發生週期地震免震效果差	對垂直地震力較無幫助	對垂直地震力較無幫助	阻尼器並不是防震用的，而是減緩建築物的搖晃
圖片				

（二）解決水平地震力對建築物的破壞

建築物受地震破壞的方式主要受地震波的傳播方式影響，第一種破壞係橫波使建築物水

平搖擺，相當於對建築物沿水平方向來回反覆施加作用力，若底部柱、牆的強度或變形能力不夠，就會使整棟建築物向同一方向歪斜或傾倒，在震區常常看到這種現象。

於是我們想與其抵抗震動不如順勢滑動，利用力學教到的慣量與力量，根據牛頓第一運動定律，除非有外力施加，物體的運動速度不會改變，所以『靜者恆靜，動者恆動』。所謂的慣性係指物體顯示出的維持運動狀態不變，根據牛頓第二運動定律，物體所受的淨力與物體的加速度成正比，並和物體的質量成反比，公式為 F （力量）= m （質量） $\times$ a （加速度）。利用牛頓第一、二運動定律我們推論出，當地平面移動時與其接觸的滾輪會產生摩擦力 F_f （如圖 3 所示）。

$$F_f = \mu (\text{動摩擦係數}) * F_N (\text{壓力})$$

$$F_N (\text{壓力}) = F_g (\text{重力}) = m (\text{質量}) * g (\text{重力加速度})$$

$$\text{其中，} F_f (\text{物體淨力}) = F_f (\text{摩擦力}) = m (\text{質量}) \times a (\text{加速度})$$

物體的加速度為，

$$a (\text{加速度}) = \frac{\mu \times F_N}{m} = \mu \times g$$

由此得知物體的加速度與 m 無關，可利用全向滾輪使 μ （動摩擦係數）變小，則地表搖晃造成建築物的加速度便甚小，故當地表晃動時，滾輪上之物體不受地表影響而滑動。

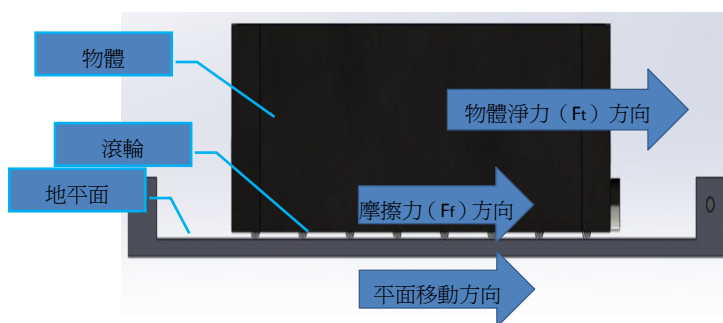


圖 3 物體在移動平面上的運動示意圖

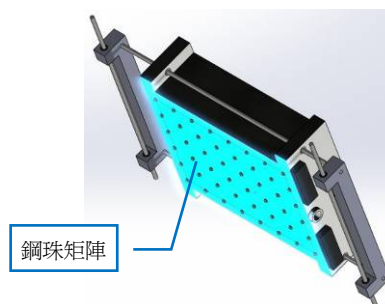


圖 4 全向滑輪結構示意圖

本組利用雙向滑軌與全向滑輪構造（如圖 4 所示），裝置於建築物基座下方，猶如為建築物穿上溜冰鞋般，使建築物能在水平面上滑動不與地面直接接觸，當地表隨地震力水平晃動時，因建築物的巨大慣量，加上雙向滑軌與全向滑輪結構的低摩擦力，故而使建築物可不受地震力之影響而原地不動，如此可解決水平地震力對建築物的破壞，以下針對雙向滑軌、

全向滑輪與滑動底盤在地震發生時，該設備如何抵抗地震力之說明（如圖 5 所示）。

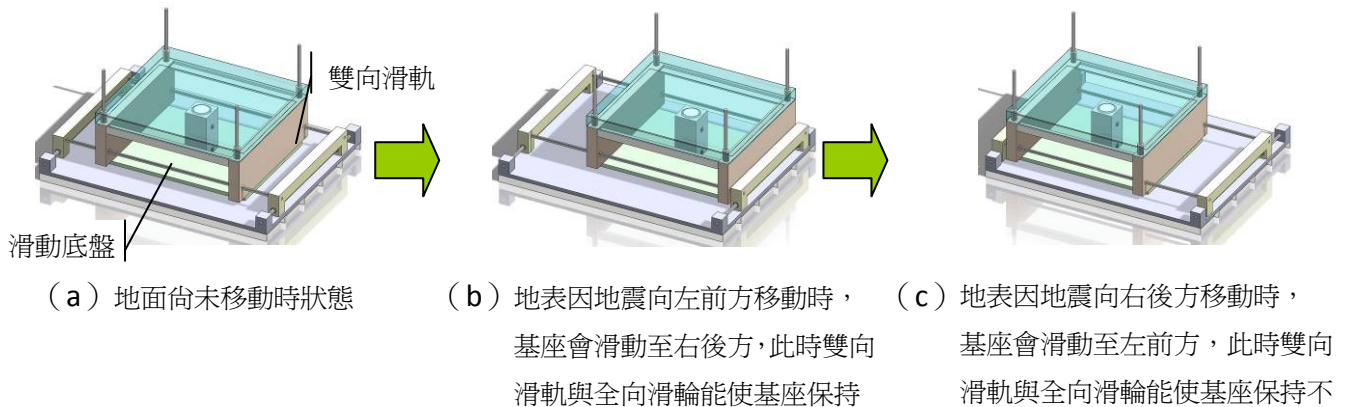


圖 5 抵抗水平地震力之流程圖

(三) 解決垂直地震力對建築物的破壞

第二種破壞係縱波使建築物上下顛簸，突如其來的力量，使建築物的底層柱和牆突然承受非常大的動荷重，在建築物來不及跟著運動之狀況下，上部的自重壓力若超出底層、柱、牆的承載能力，整個建築物就如”坐”下一般會直接往下塌陷。針對此破壞方式，本組依舊採用抵抗震動不如順勢滑動的概念設計了汽缸構造。當地表因地震向下移動時，將受到建築物巨大的慣量，將至於中間的汽缸拉開，經由止逆閥（如圖 7 所示）引入空氣到汽缸內；當地表因地震向上移動會與受地心引力下降的建築物產生碰撞，而本設備藉由汽缸構造內的空氣壓縮去緩衝避震，大幅減少撞擊的力量，甚至於可消除撞擊力量於無形。以下針對汽缸構造如何抵抗垂直地震力之說明（如圖 6 所示）。

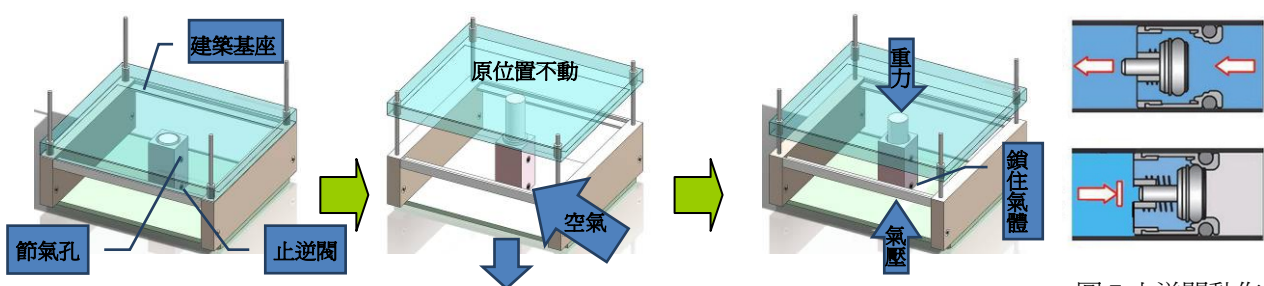


圖 7 止逆閥動作示意圖

- (a) 汽缸分為外缸(藍色)與中心軸(白色)，中心軸下方有活塞環阻隔空氣外漏，形成密閉空間。在滑動底盤的四個角落設置滑軌，主要引導中心軸能垂直上下移動，避免中心軸因歪斜移動而卡死。
- (b) 當地表因地震向下移動，此時汽缸基座會因建築物的質量所產生的慣量停留在原處，氣流由止逆閥進入汽缸。當開始向上移動時汽缸的中心軸會壓出超過節氣孔的氣體，由節氣孔排出，避免汽缸過度充氣。
- (c) 當地表因地震向上移動，連結建築物的汽缸基座因建築物的重力下降，此時止逆閥將空氣鎖在汽缸內產生的避震效果。

說明：

1. 當氣體由右向左流動時，其氣壓會推開閥門讓空氣流入(如圖 7 上)。
2. 當氣體由左向右流動時，其氣壓會推緊閥門讓空氣無法流出(如圖 7 下)。

圖 6 抵抗垂直地震力之流程圖

第二部份：主要實驗設計如下：

(一) 將設計想法繪製成設計圖（如圖 9 所示）

使用 SOLIDWORKS 3D 軟體繪製零件，模擬軟件連接零件組成本組設計出的抗震設備（如圖 8 所示），藉以觀察分析設備中所有零件尺寸值的正確性後，進行模擬該設備使用情形，確定本設備之可行性。

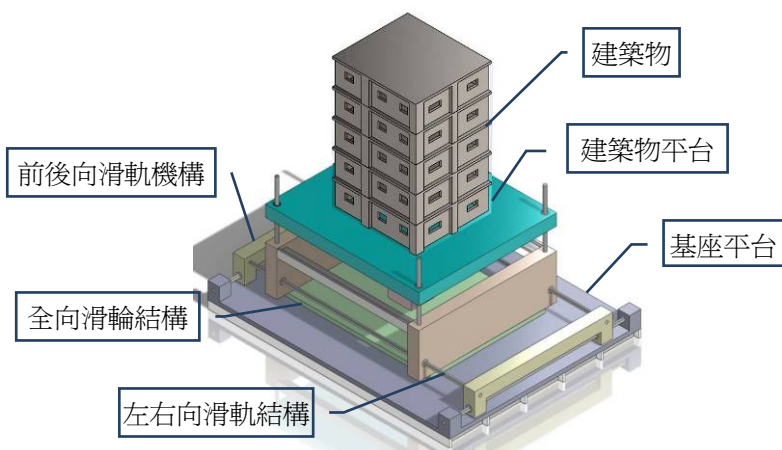


圖 8 抗震設備示意圖

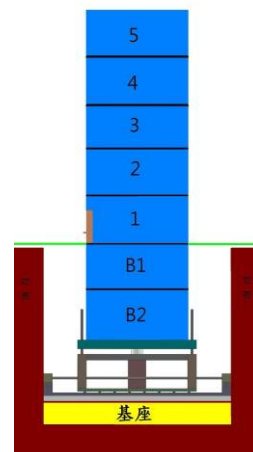


圖 9 設計概念圖

(二) 製作雙向滑軌、全向滑輪與汽缸

經過本組討論後決定利用鋼珠滾動無方向性的特性做成全向滑輪(如圖 11 所示)，達到支撐建築物重量並能產生滑動作用，再使用線性軸承及電鍍圓棒，製作低摩擦的雙向滑軌，達到固定建築物面向的作用(如圖 10 所示)，以中心軸與外缸結合製作出類似避震器構造的汽缸，但為避免氣缸歪斜造成氣缸伸縮卡死，本組使用四隻 Z 軸滑軌引導氣缸滑動方向排除氣缸歪斜的可能性，並使用止逆閥於地震發生時藉由地震的能量為汽缸充氣達到避震作用。

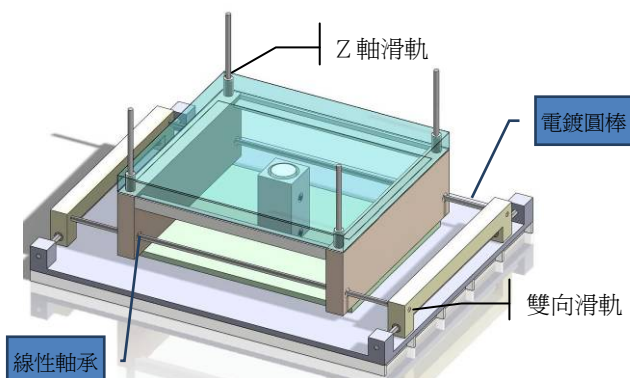


圖 10 滑軌結構示意圖

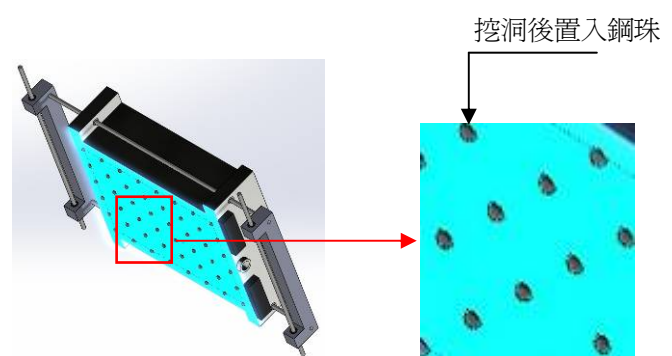


圖 11 全向滑輪結構示意圖

（三）精密加工所有零件

本設備為滑軌與汽缸的組合，因滑軌與汽缸要能平順無阻力的運作，在組裝中不可產生歪斜情形發生，只要有些許的偏差則無法進行滑動，因此零件尺寸與組裝時的精密度十分重要，故而商借機械科的實習設備 CNC 銑床製作。

（四）零件組裝

1. 水平滑動裝置

（1）製作全向滑輪：為能承受建築物的重量，我們使用多點支撐的方式，大幅降低每一個支點的受力，並在支點處挖出半圓的洞再置入鋼珠製成全向滑輪（如圖 12 所示）。

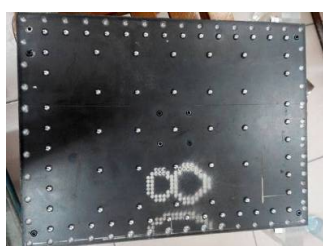


圖 12 全向滑輪實體完成圖

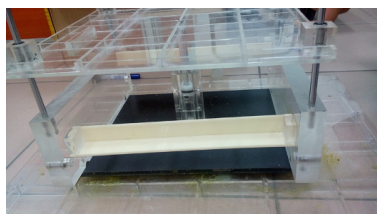


圖 13 滑動底盤實體完成圖

（2）組裝滑動底盤：全向滑輪與汽缸的組合簡稱滑動底盤，滑動底盤是以全向滑輪為底板，兩邊以壓克力板連接形成開口朝上的中空框架，藉此滑動底盤可輕易在基座上無方向性滑動(如圖 13 所示)。

（3）組裝雙向滑軌：雙向滑軌係以控制滑動底盤的無方向性滑動。在基座上建置滑桿固定座，以壓克力塊內置入線性軸承，再以電鍍圓棒貫穿，使壓克力滑塊可於電鍍圓棒上前後向滑動；將滑動底盤兩邊以壓克力板內置入線性軸承，利用該壓克力滑塊做為滑桿固定座，再以電鍍圓棒貫穿，使滑動底盤可在電鍍圓棒上左右向滑動。以上裝置可讓滑動底盤在基座上平面自由移動，因旋轉的自由度受滑桿限制，因此可固定滑動底盤面向滑動(如圖 14 所示)。

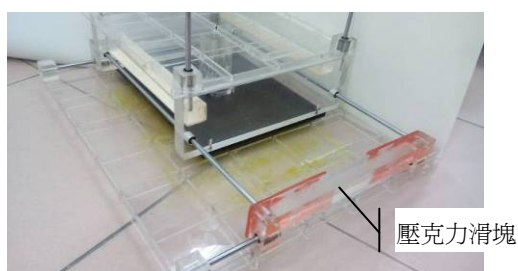


圖 14 雙向滑軌實體完成圖

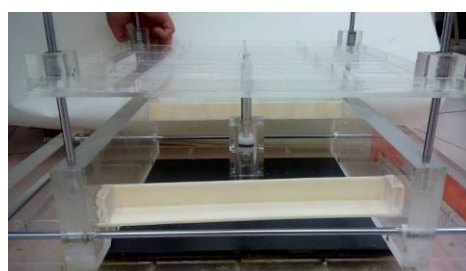


圖 15 汽缸避震裝置實體完成圖

2. 垂直移動裝置

組裝汽缸避震設備：將汽缸外缸與四隻 Z 軸圓棒固定於滑動底盤上，再將含連桿的活塞置入外缸內，然後將建築基座置於汽缸上穿過四隻 Z 軸圓棒並連結連桿便完成。其中在外缸下方裝置止逆閥使汽缸充氣，並在止逆閥上設置一個節氣孔，當活塞環超過節氣孔時則自動將多餘的氣體由此排出，避免汽缸過度充氣(如圖 15 所示)。

三、實驗細項說明

(一) 實驗假設

- 1、本研究之實驗設計具有一定之可行性。
- 2、以加裝抗震設備之模型受軸向水平地震力時的位移量觀測，具有抗震能力。
- 3、以加裝抗震設備之模型受 45 度水平地震力時的位移量觀測，具有抗震能力。
- 4、以加裝抗震設備之模型受軸向水平地震力時的振幅偏移量觀測，具有抗震能力。
- 5、以加裝抗震設備之模型受 45 度水平地震力時的振幅偏移量觀測，具有抗震能力。

(二) 實驗設計

1、對照組 A：

模型尺寸	34X24X50cm(五層樓)	
實際建築物尺寸	73.44M ² (約 22.21 坪)	
材料	木材	
有無加裝抗震設備	無 (如右圖所示)	
說明 (1) 建築物模型尺寸以一般住宅大小做設定		

2、實驗組 B：

模型尺寸	34X24X50cm(五層樓)	
實際建築物尺寸	73.44M ² (約 22.21 坪)	
材料	木材	
有無加裝抗震設備	有 (如右圖所示)	
說明 (1) 建築物模型尺寸以一般住宅大小做設定		

(三) 依震動台震動頻率分別模擬五種不同之地震頻率

1. 第一階段：水平移動來回 45 次/ 1 分鐘， $45/60=0.75$ 次/sec
2. 第二階段：水平移動來回 76 次/ 1 分鐘， $76/60=1.27$ 次/sec
3. 第三階段：水平移動來回 120 次/ 1 分鐘， $120/60=2.0$ 次/sec
4. 第四階段：水平移動來回 160 次/ 1 分鐘， $160/60=2.67$ 次/sec
5. 第五階段：水平移動來回 240 次/ 1 分鐘， $240/60=4.0$ 次/sec

(四) 震動台加速度計算公式：

本組使用的簡易震動台並無加速度設定功能，只有無段轉速控制器，為確認震動台的加速度，於是藉由震動台的運動方式去推算。其中震動台是以等速率圓周運動方式進行，而震動台面可依據投影運動(如圖 16 所示)，推算出震動台面的運動加速度為

$$a = R * \omega^2 * \cos(\omega t + \Theta) \quad \omega : \text{角速度}$$

震動台面的最大運動加速度為

$$a = R * \omega^2 = 4 * \pi^2 * R * f^2 \quad \cdots \cdots <1>$$

a：加速度(cm/sec^2)

π ：圓周率

r：振幅距離(cm)

f：頻率(次/sec) = $1 / T$

如上所示，可由數學方程式<1> 計算出實驗中簡易震動台面的最大運動加速度。

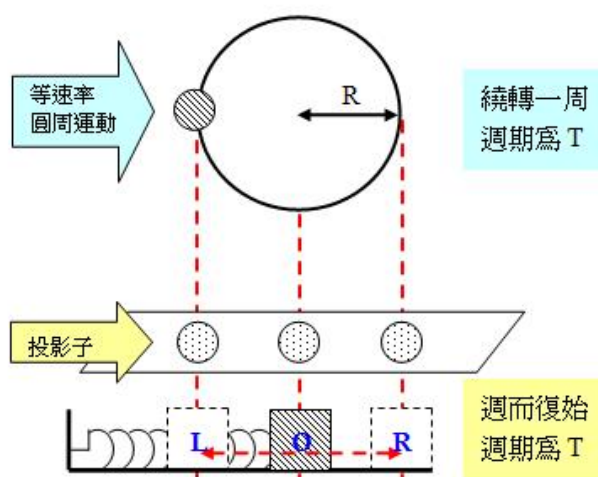


圖 16 震動台面的運動方式^{註4}

^{註4} 圖片來源：科學 Online – 科技部高瞻自然科學教學資源平台

表 3 震動台加速度對應震度分級換算表（請參考表 4、圖 17 中央氣象局公告之地震震度分級）

階段	振幅距離(cm)	頻率(次/sec)	加速度(cm/sec ²)	對應震度分級	
一	1	0.75	22.21	3	弱震
二	1	1.27	63.67	4	中震
三	1	2.00	157.91	5	強震
四	1	2.67	281.44	6	烈震
五	1	4.00	631.65	7	劇震

(五) 實驗步驟

1、設計實驗配置：

將實驗組及對照組分別安裝於震動台上，經由震動台模擬地震規模，可觀察其實驗組與對照組受到地震力影響之狀況。

2、擷取數據方式：

為取得實驗組與對照組因震動台運動而移動的數據，本組將直尺固定於牆面，藉由該直尺與實驗組或對照組的相對位置，可真實觀察實驗設備位移量的情形。

3、設計實驗程序：

分別將實驗組或對照組安裝在震動台上，並分別調整五次不同的加速度，震度分別為 3~7 級，每調一次加速度則量測三回取得平均數值，並記錄其數據，若整體數據波動超過 5% 以上，則需重新量測，因此本研究實驗結果皆具有一定之穩定性與一致性。

為確認本抗震設備可有效抵抗不同方向來源的地震力，本組將實驗組與對照組轉 45 度分別安裝於震動台上，並重複以上之步驟。

(六) 地震震度分級

表 4 交通部中央氣象局公告之地震震度分級表

震度分級		地動加速度 (cm/s ² ,Gal)	人的感受	屋內情形	屋外情形
0	無感	0.8 以下	人無感覺		
1	微震	0.8~2.5	人靜止時可感覺 微小搖晃		
2	輕震	2.5~8.0	大多數的人可感到動，睡眠中的人有部分會醒來	電燈等懸掛物有小搖晃	靜止的汽車輕輕搖晃，類似卡車經過，但歷時很短
3	弱震	8~25	幾乎所有的人都感覺搖晃，有的人會有恐懼感	房屋震動，碗盤門窗發出聲音，懸掛物搖擺	靜止的汽車明顯搖動，電線略有搖晃
4	中震	25~80	有相當程度的恐懼感，部分的人會尋求躲避的地方，睡眠中的人幾乎都會驚醒	房屋搖動甚烈，底座不穩，物品傾倒，較重傢俱移動，可能有輕微災害	汽車駕駛人略微有感，電線明顯搖晃，步行中的人也感到搖晃
5	強震	80~250	大多數人會感到驚嚇恐慌	部分牆壁產生裂痕，重傢俱可能翻倒。	汽車駕駛人明顯感覺地震，有些牌坊煙囪傾倒
6	烈震	250~400	搖晃劇烈以致站立困難	部分建築物受損，重傢俱翻倒，門窗扭曲變形	汽車駕駛人開車困難，出現噴沙噴泥現象
7	劇震	400 以上	搖晃劇烈以致無法依意志行動	部分建築物受損嚴重或倒塌，幾乎所有傢俱都大幅移位或摔落地面	山崩地裂，鐵軌彎曲，地下管線破壞

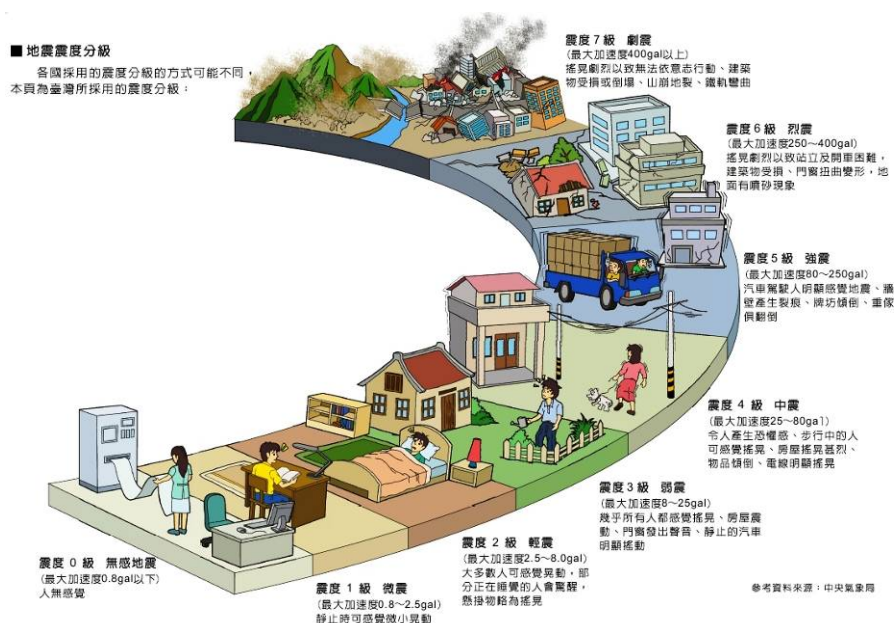


圖 17 地震震度分級圖

伍、研究結果

一、實驗研究數據

表 5 第一階段(三級弱震)：對照組 A 與實驗組 B 之軸向水平地震力位移量之比較

項目 名稱	位移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	2.0	2.0	2.0	2.0
實驗組 B	2.0	2.0	2.0	2.0

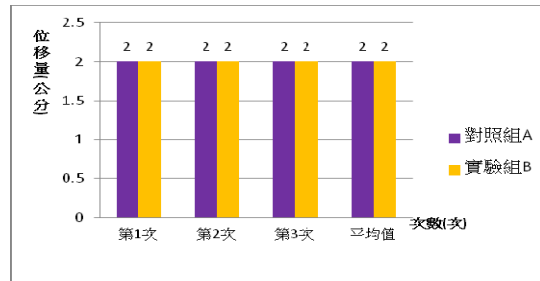


圖 18 第一階段:對照組 A 與實驗組 B 之軸向水平位移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第一階段抗震台加速度 22.21cm/sec^2 ，相當於三級震度(弱震)。

表 6 第二階段(四級中震)：對照組 A 與實驗組 B 之軸向水平地震力位移量之比較

項目 名稱	位移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	2.0	2.0	2.0	2.0
實驗組 B	1.3	1.3	1.3	1.3

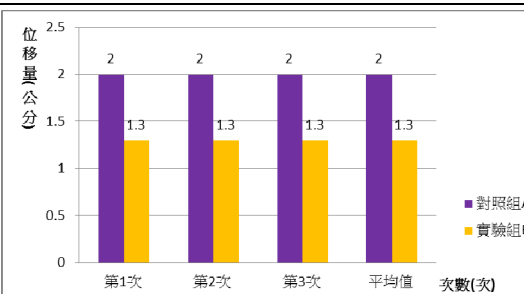


圖 19 第二階段:對照組 A 與實驗組 B 之軸向水平位移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第二階段抗震台加速度 63.67cm/sec^2 ，相當於四級震度(中震)。

表 7 第三階段(五級強震)：對照組 A 與實驗組 B 之軸向水平地震力位移量之比較

項目 名稱	位移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	2.0	2.0	2.0	2.0
實驗組 B	0.4	0.4	0.4	0.4

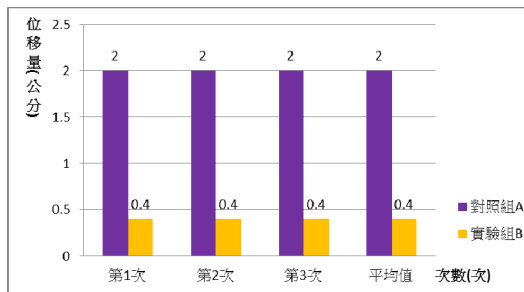


圖 20 第三階段:對照組 A 與實驗組 B 之軸向水平位移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第三階段抗震台加速度 157.91cm/sec^2 ，相當於五級震度(強震)。

表 8 第四階段(六級烈震)：對照組 A 與實驗組 B 之軸向水平地震力位移量之比較

項目 名稱	位移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	2.0	2.0	2.0	2.0
實驗組 B	0.2	0.2	0.2	0.2

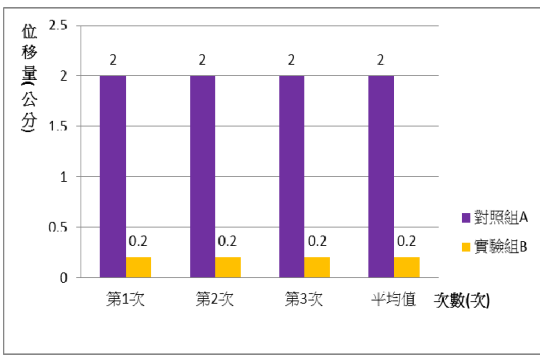


圖 21 第四階段:對照組 A 與實驗組 B 之軸向水平位移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第四階段抗震台加速度 281.44cm/sec^2 ，相當於六級震度(烈震)。

表 9 第五階段(七級劇震)：對照組 A 與實驗組 B 之軸向水平地震力位移量之比較

項目 名稱	位移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	2.0	2.0	2.0	2.0
實驗組 B	0.1	0.1	0.1	0.1

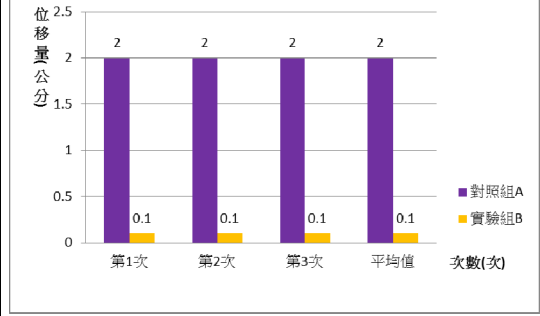


圖 22 第五階段:對照組 A 與實驗組 B 之軸向水平位移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第五階段抗震台加速度 631.65cm/sec^2 ，相當於七級震度(劇震)。

表 10 第一階段(三級弱震)：對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力位移量之比較

項目 名稱	位移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	2.0	2.0	2.0	2.0
實驗組 B	2.0	2.0	2.0	2.0

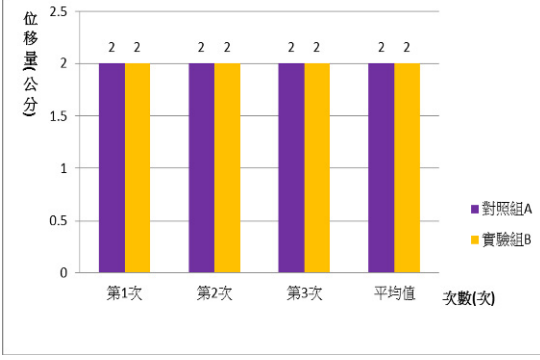


圖 23 第一階段:對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力位移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第一階段抗震台加速度 22.21cm/sec^2 ，相當於三級震度(弱震)。

表 11 第二階段(四級中震)：對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力位移量之比較

項目 名稱	位移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	2.0	2.0	2.0	2.0
實驗組 B	0.7	0.6	0.5	0.6

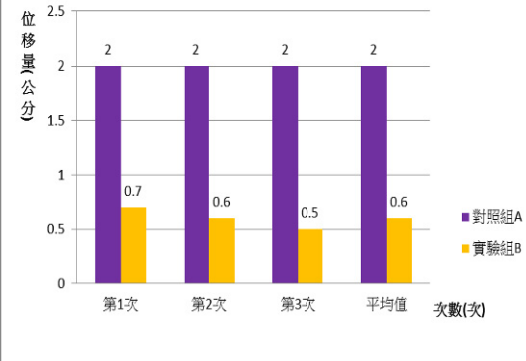


圖 24 第二階段:對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力位移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第二階段抗震台加速度 63.67cm/sec^2 ，相當於四級震度(中震)。

表 12 第三階段(五級強震)：對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力位移量之比較

項目 名稱	位移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	2.0	2.0	2.0	2.0
實驗組 B	0.3	0.4	0.2	0.3

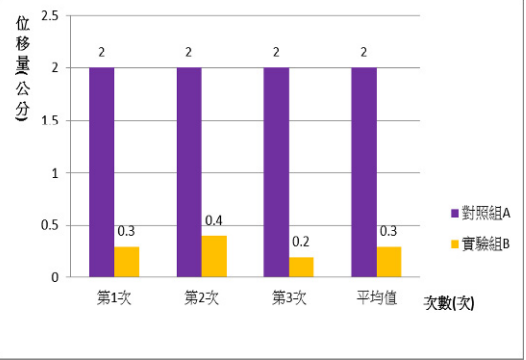


圖 25 第三階段:對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力位移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第三階段抗震台加速度 157.91cm/sec^2 ，相當於五級震度(強震)。

表 13 第四階段(六級烈震)：對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力位移量之比較

項目 名稱	位移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	2.0	2.0	2.0	2.0
實驗組 B	0.2	0.2	0.2	0.2

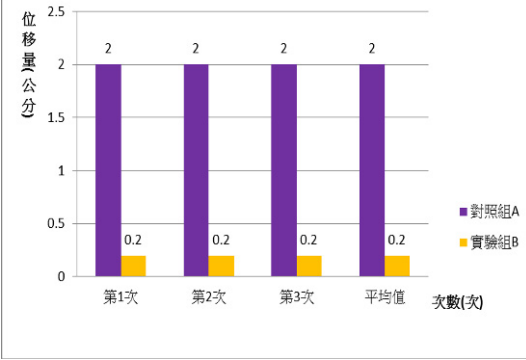


圖 26 第四階段:對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力位移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第四階段抗震台加速度 281.44cm/sec^2 ，相當於六級震度(烈震)。

表 14 第五階段(七級劇震)：對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力位移量之比較

項目 名稱	位移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	2.0	2.0	2.0	2.0
實驗組 B	0.1	0.1	0.1	0.1

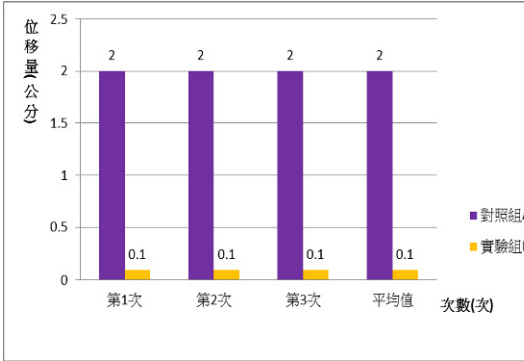


圖 27 第五階段:對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力位移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第五階段抗震台加速度 631.65cm/sec^2 ，相當於七級震度(劇震)。

表 15 第一階段(三級弱震)：對照組 A 與實驗組 B 之水平地震力振幅偏移量之比較

項目 名稱	振幅偏移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	4.2	3.7	3.8	3.9
實驗組 B	3.6	3.4	3.5	3.5

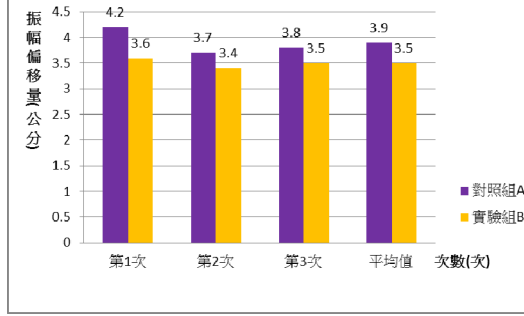


圖 28 第一階段:對照組 A 與實驗組 B 之水平地震力振幅偏移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第一階段抗震台加速度 22.21cm/sec^2 ，相當於三級震度(弱震)。

表 16 第二階段(四級中震)：對照組 A 與實驗組 B 之水平地震力振幅偏移量之比較

項目 名稱	振幅偏移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	6.2	6.5	6.8	6.5
實驗組 B	2.3	2.3	2.4	2.3

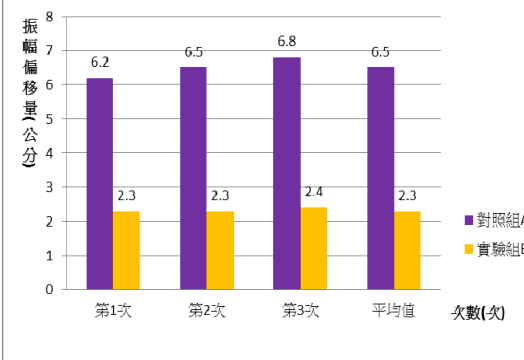


圖 29 第二階段:對照組 A 與實驗組 B 之水平地震力振幅偏移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第二階段抗震台加速度 63.67cm/sec^2 ，相當於四級震度(中震)。

表 17 第三階段(五級強震)：對照組 A 與實驗組 B 之水平地震力振幅偏移量之比較

項目 名稱	振幅偏移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	7.6	8.0	8.4	8.0
實驗組 B	2.0	2.0	2.0	2.0

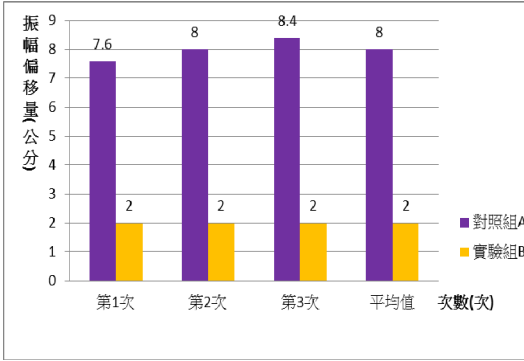


圖 30 第三階段:對照組 A 與實驗組 B 之水平地震力振幅偏移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第三階段抗震台加速度 157.91cm/sec^2 ，相當於五級震度(強震)。

表 18 第四階段(六級烈震)：對照組 A 與實驗組 B 之水平地震力振幅偏移量之比較

項目 名稱	振幅偏移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	8.2	8.6	9.0	8.6
實驗組 B	1.5	1.5	1.5	1.5

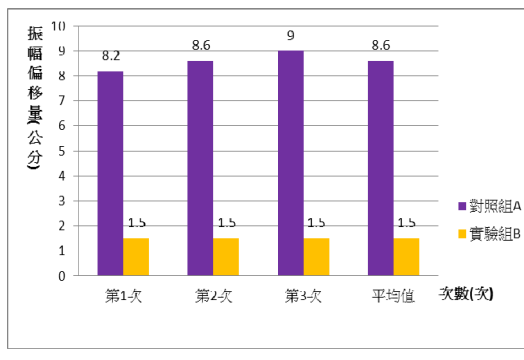


圖 31 第四階段:對照組 A 與實驗組 B 之水平地震力振幅偏移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第四階段抗震台加速度 281.44cm/sec^2 ，相當於六級震度(烈震)。

表 19 第五階段(七級劇震)：對照組 A 與實驗組 B 之水平地震力振幅偏移量之比較

項目 名稱	振幅偏移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	12.0	11.6	13.0	12.2
實驗組 B	1.2	1.2	1.2	1.2

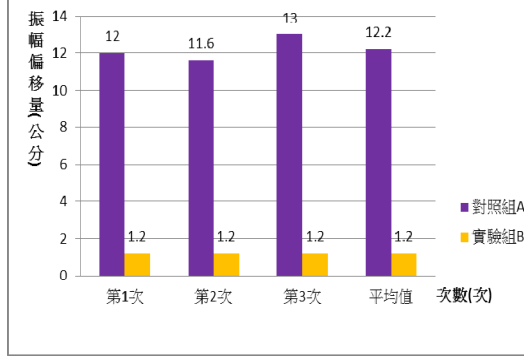


圖 32 第五階段:對照組 A 與實驗組 B 之水平地震力振幅偏移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第五階段抗震台加速度 631.65cm/sec^2 ，相當於七級震度(劇震)。

表 20 第一階段(三級弱震)：對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力振幅偏移量之比較

項目 名稱	振幅偏移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	4.2	3.7	3.8	3.9
實驗組 B	2.0	2.0	2.0	2.0

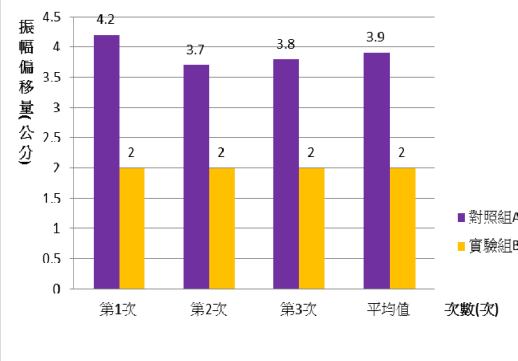


圖 33 第一階段:對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力振幅偏移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第一階段抗震台加速度 22.21cm/sec^2 ，相當於三級震度(弱震)。

表 21 第二階段(四級中震)：對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力振幅偏移量之比較

項目 名稱	振幅偏移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	6.2	6.5	6.8	6.5
實驗組 B	1.5	1.5	1.5	1.5

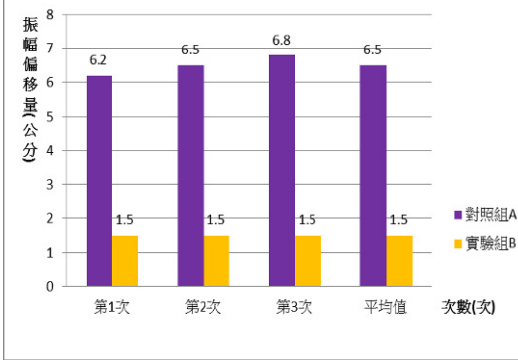


圖 34 第二階段:對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力振幅偏移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第二階段抗震台加速度 63.67cm/sec^2 ，相當於四級震度(中震)。

表 22 第三階段(五級強震)：對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力振幅偏移量之比較

項目 名稱	振幅偏移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	7.6	8.0	8.4	8.0
實驗組 B	1.0	0.5	0.6	0.7

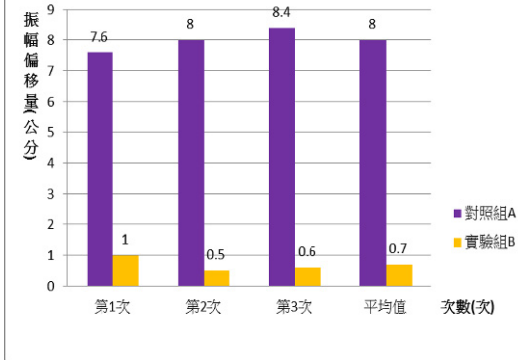


圖 35 第三階段:對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力振幅偏移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第三階段抗震台加速度 157.91cm/sec^2 ，相當於五級震度(強震)。

表 23 第四階段(六級烈震)：對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力振幅偏移量之比較

項目 名稱	振幅偏移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	8.2	8.6	9.0	8.6
實驗組 B	0.5	0.5	0.5	0.5

次數(次)	對照組A (cm)	實驗組B (cm)
第1次	8.2	0.5
第2次	8.6	0.5
第3次	9.0	0.5
平均值	8.6	0.5

圖 36 第四階段:對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力振幅偏移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第四階段抗震台加速度 281.44cm/sec^2 ，相當於六級震度(烈震)。

表 24 第五階段(七級劇震)：對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力振幅偏移量之比較

項目 名稱	振幅偏移量(cm)			
	第1次	第2次	第3次	平均值
對照組 A	12.0	11.6	13.0	12.2
實驗組 B	0.2	0.4	0.3	0.3

次數(次)	對照組A (cm)	實驗組B (cm)
第1次	12.0	0.2
第2次	11.6	0.4
第3次	13.0	0.3
平均值	12.2	0.3

圖 37 第五階段:對照組 A 與實驗組 B 之 45 度地震力振幅偏移量關係

附註：抗震台震動速率分別模擬五種不同之地震速度實驗，第五階段抗震台加速度 631.65cm/sec^2 ，相當於七級震度(劇震)。

二、模擬五種不同震度軸向水平地震力與建築物位移量之關係

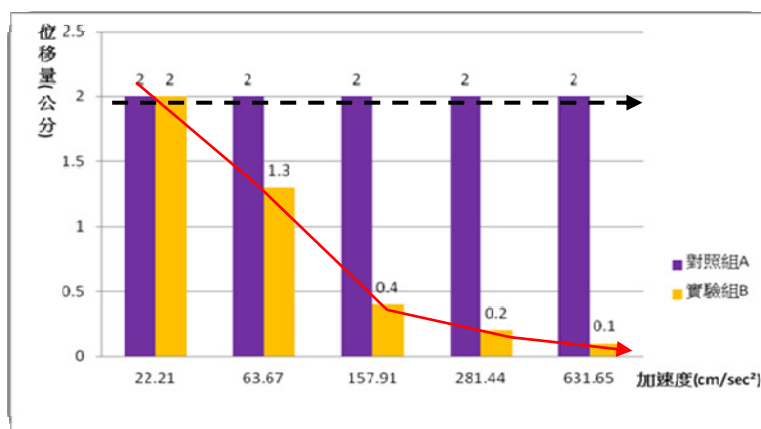


圖 38 對照組 A 與實驗組 B 軸向水平地震力位移量之關係

三、模擬五種不同側向 45 度的水平地震力與建築物位移量之關係

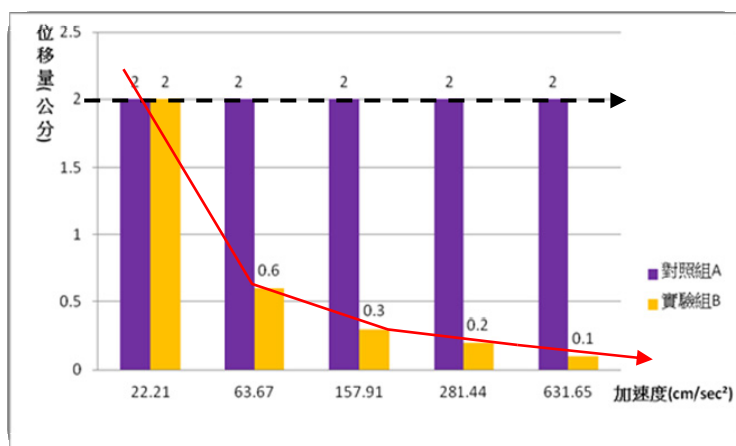


圖 39 對照組 A 與實驗組 B 45 度側向水平地震力位移量之關係

四、模擬五種不同水平地震力與建築物振幅偏移量之關係

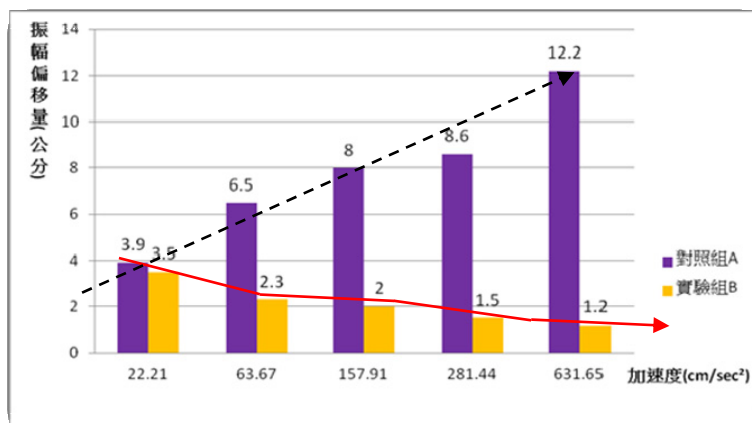


圖 40 對照組 A 與實驗組 B 軸向水平地震力振幅偏移量之關係

五、模擬五種不同側向 45 度的水平地震力與建築物振幅偏移量之關係

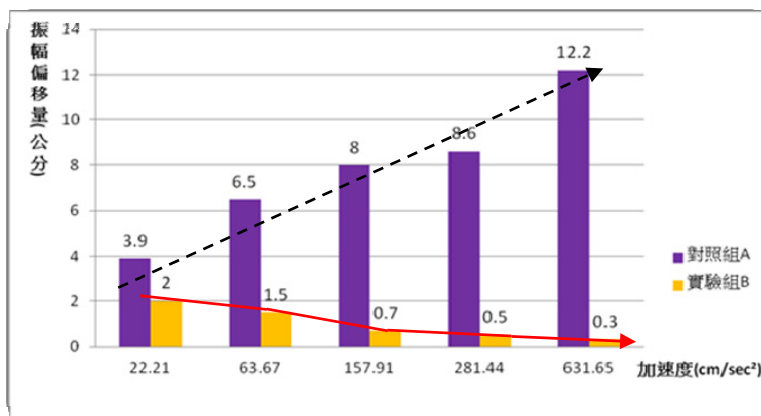


圖 41 對照組 A 與實驗組 B 45 度水平地震力振幅偏移量之關係

陸、討論

一、實驗設計之可行性討論

- (一) 本研究最初以磁浮基礎為發想，當偵測到地震時，利用磁浮原理將建築物浮上地表，以避免地震力的破壞。但經過討論後發現，若要將建築物浮起，所需電量大到難以估計，在執行上實有困難，因此變更其設計方向，改以雙向滑軌、全向滑輪及汽缸取代之，設計出滑缸型抗震設備。各組實驗皆依據『定性定量』的科學實驗精神為準則，期待加裝『不動如山－滑缸型抗震設備』能有效減少地震力的衝擊，避免建築物遭受損毀，達到”強震不倒，中震可修，小震不壞”之精神，實現智慧建築的精神。
- (二) 以上兩組實驗，為配合模擬地震之震動台設備大小及振動頻率，特將抗震設備及建築物模型設計符合震動台尺寸，因此本研究實驗結果皆具有一定之穩定性與一致性，整體數據波動皆未超過 5%。故據此結果建立重複實驗之效度，後續研究即以建築物模型為對照組 A，以有加裝抗震設備建築物模型為實驗組 B，進行震動台不同階段震度之位移量及振幅偏移量的各項試驗，進而比較、討論與分析。

二、本裝置抵抗水平地震力所產生位移量之效能

因震央位置方向的不同，所產生的水平地震力方向亦不同，因此以未加裝抗震設備的建築物模型為對照組，研究以加裝本組研發的滑缸型抗震設備建築物模型分別進行軸向水平地震力與45度側向水平地震力之位移量實驗。結果顯示（如圖42所示），隨著模擬地震加速度愈大，實驗各組的水平位移量相較於對照組明顯降低許多；而且隨著加速度的提高，對照組水平位移量不變，但實驗組位移量逐漸降低，甚至靜止不晃動，在不同加速度都遠低於對照組之位移量許多。由對照組與實驗組比較位移量中顯示，以五階段不同加速度之震度來看，劇震時實驗組的位移量明顯低於中震、強震及烈震的對照組之位移量。

綜觀來看，第一階段加速度 22.21 cm/sec^2 屬弱震的地震力，所造成對照組A與實驗組B模型之位移量大致相同，但隨著模擬地震加速度增大時，實驗組之位移量隨之趨於線性減低，兩者差距逐漸明顯增大，甚至到達第五階段加速度 631.65 cm/sec^2 超過劇震強度

時，實驗組B的位移量只有0.1公分幾乎呈現不移動狀態。

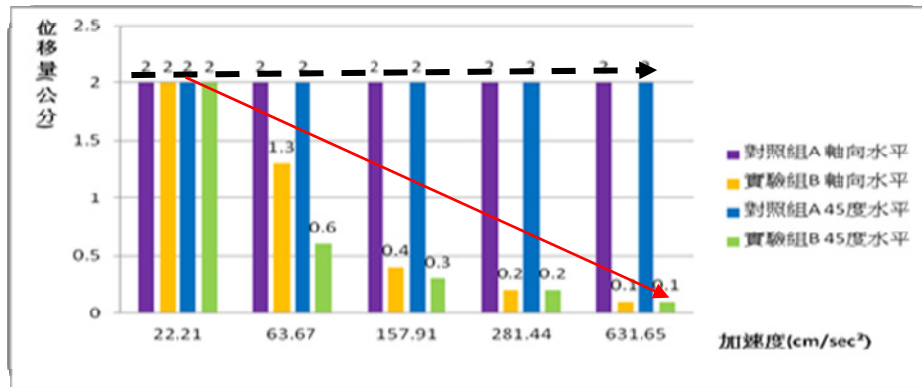


圖42 不同加速度對照組A與實驗組B受水平地震力位移量之關係圖

由上述實驗數據顯示，本組原想利用低摩擦力的滑軌減緩地震所產生的晃動，但水平地震力會隨震央位置的不同所產生的方向亦不同，經過小組研究討論後決定，利用鋼珠滾動無方向性的特性設計出『全向滑輪』及高強度、低摩擦力的雙向滑軌來抵抗水平地震力的傷害，實驗結果顯示本組的研究能有效抵抗不同方向地震力、分散建築物的重量以及搖晃時的剪力，使建築物免受地震的嚴重損害。

三、本裝置抵抗水平地震力所產生震幅偏移量之效能

震波分為橫波、縱波及面波，不同的地震成因所形成的震波型式也會不同，除了要避免地震力造成的建築物位移傷害，也必須注意建築物搖晃時所引發的損害及人心的惶恐，因此以未加裝抗震設備的建築物模型為對照組，研究以加裝本組研發的滑缸型抗震設備建築物模型，並於兩模型頂版同一處加裝相同長度之鉛條方便觀測，分別進行軸向水平地震力與45度側向水平地震力之振幅偏移量實驗。結果顯示（如圖43所示），隨著模擬地震加速度愈大，對照組的振幅偏移量明顯增大；反觀，實驗組隨著加速度的提高，振幅偏移量卻大幅度縮小，不同加速度都遠低於對照組之振幅偏移量許多，隨著加速度的增加對照組與實驗組振幅偏移量的差距明顯增大。

綜觀來看，第一階段加速度22.21 cm/sec²屬弱震的地震力，所造成對照組A與實驗組B模型之振幅偏移量已相差1.9公分，第五階段加速度631.65 cm/sec²超過劇震強度時，差距已高達11.9公分，尤以45度側向水平地震力為其明顯，實驗組B幾乎呈現不晃動狀態。

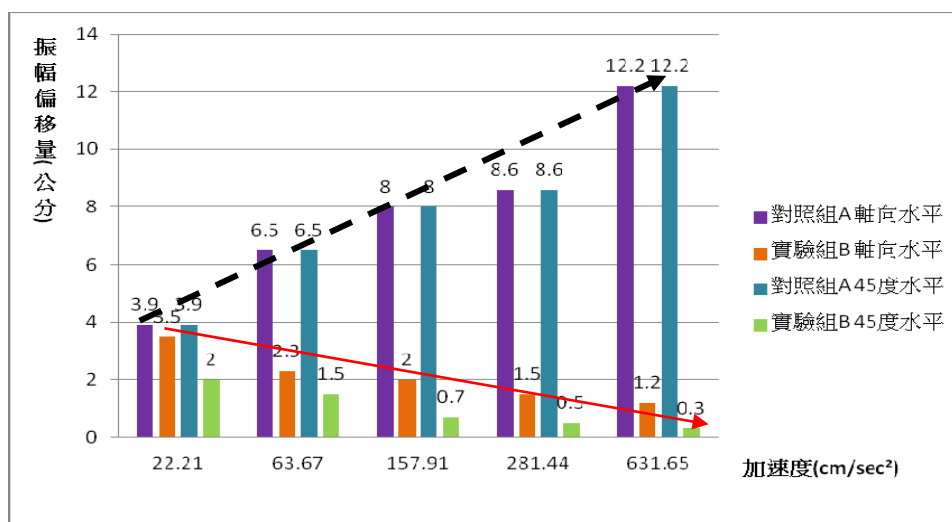


圖43 不同加速度對照組A與實驗組B受水平地震力振幅偏移量之關係圖

由上述實驗數據顯示，本組研發出的全向滑輪及雙向滑軌能有效抵抗不同方向地震力，及建築物晃動時所產生的剪力，尤以強震加速度157.91cm/sec²以上之震度特為明顯，使其達到建築物不移動、不晃動、不受水平地震力傷害的目標，獲取最高節能效益。

四、實驗組 B 不受縱波垂直地震力影響的推論

本組於分區賽後改以較堅固之鋼板及木材重新打造一組不動如山－抗震設備，但由於受限於職校資源的不足，與相關實驗設備並不普及，依舊無法商借到可模擬量測地震上下振動之震動台，因此本組判斷無法針對垂直地震力做實驗。但基於一般建築物在同一震度中受垂直地震力的傷害遠大於水平地震力，因此本組向校內汽車科商借油壓機做簡易測試。

以油壓機模擬垂直地震力，本組發現當地表因地震向下移動時，因建築物的巨大的慣量，加上利用汽缸原理使經由止逆閥引入空氣到汽缸內，緩衝避震大幅減少建築物受垂直地震力的撞擊，甚至可消除撞擊力量於無形。其功能就如同汽車的避震器，能抵消地表的震動並減少樓層之間的位移，將地震所引起的機械能轉換成熱能而散逸，使建築物免於被扯裂的命運。由此得知，本組研究製作出的汽缸結構是可有效抵抗垂直地震力的傷害。

五、汽缸是否可以承受建築物的自重？

由上述討論得知：本組研發出的『不動如山－滑缸型抗震設備』具有有效抵抗水平及垂直地震力，在汽缸評估分析上，我們以汽缸內徑200mm、桿徑50mm、操作壓力1.0Mpa查表得知氣壓缸可出力29440牛頓(如表25所示)，因此進行建築物結構重量之計算，簡易估算氣壓桿所需的數量。

(一) 氣壓缸理論出力表

表25 氣壓理論出力表

A B																單位：N									
氣壓缸理論出力表																									
氣缸內徑		12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	150	200											
mm																									
桿徑 mm		6	6	8	10	12	16	20	20	25	25	35	40	50											
活塞受壓面積(mm²)		A	113	201	314	491	804	1257	1963	3117	5027	7854	12271	17671	31400										
		B	85	173	264	412	691	1056	1649	2803	4536	7363	11309	16415	29437										
操作壓力 (MPa)	0.1	A	11	20	31	49	80	126	196	312	502	785	1227	1767	3140										
		B	8.5	17	26	41	69	106	165	280	453	736	1131	1642	2944										
	0.2	A	23	40	63	98	161	251	393	623	1005	1571	2454	3534	6280										
		B	17	35	53	82	138	211	330	561	907	1473	2262	3283	5888										
	0.3	A	34	60	94	147	241	377	589	935	1508	2356	3681	5301	9420										
		B	25	52	79	124	207	317	495	841	1361	2209	3393	4925	8832										
	0.4	A	45	80	126	196	322	503	785	1247	2011	3142	4908	7068	12560										
		B	34	69	106	165	276	422	660	1121	1814	2945	4524	6566	11776										
	0.5	A	57	101	157	245	402	629	982	1559	2514	3927	6135	8836	15700										
		B	42	87	132	206	346	528	825	1402	2268	3682	5655	8208	14720										
	0.6	A	68	121	189	294	482	754	1178	1870	3016	4712	7363	10603	18840										
		B	51	104	158	247	415	634	989	1682	2722	4418	6785	9849	17664										
	0.7	A	79	141	220	343	563	880	1374	2182	3519	5498	8589	12370	21980										
		B	59	121	185	289	484	739	1154	1962	3175	5154	7916	11491	20608										
	0.8	A	90	161	251	393	643	1006	1570	2494	4022	6283	9816	14137	25120										
		B	68	138	211	330	553	845	1319	2242	3629	5890	9047	13132	23552										
	0.9	A	102	181	283	442	724	1131	1767	2805	4524	7069	11043	15904	28260										
		B	76	155	238	371	622	950	1484	2523	4082	6627	10178	14774	26496										
	1.0	A	113	201	314	491	804	1257	1963	3117	5027	7854	12271	17671	31400										
		B	85	173	264	412	691	1056	1649	2803	4536	7363	11309	16415	29440										
氣缸出力計算公式																									
F = P x A - f																									
F：氣缸出力(N) P：操作壓力(MPa)																									
A：受壓面積(mm²) f：摩擦阻力(N)																									

(二) 簡易估算建築物結構之重量表

表26 建築物結構自重估算表

名稱	尺寸(m)	小計 (m³)	數量	合計 (m³)
版	10.2(長)、7.2(寬)、0.12(厚)	8.81	2	17.62
柱	0.4(長)、0.4(寬)、3.0(高)	0.48	6	2.88
大梁	0.3(寬)、0.5(深)、10.2(高)	1.53	2	3.06
小梁	0.3(寬)、0.5(深)、7.2(高)	1.08	3	3.24
一層建築物結構體積總計				26.8
一層建築物結構總重量26.8x2400=64320kg				
五層建築物結構總重量64320x5=321600kg				
備註：1.以本實驗模型尺寸換算成實際建築物之大小為例 2.鋼筋混凝土單位體積重2400kgf/m³				

(二) 汽缸承載建築物重量之討論：

以本實驗建築物模型尺寸換算成實際建築物之大小為例，一支氣壓桿出力可達3004.08公斤，建築物模型(五層樓)換算成實際建築物之大小自重為321600公斤(如表26所示)，因此五層建築物需107根氣壓桿，理論上是可達成所需功能，但考量其高樓層自重大相對成本高，及低樓層所需抗震設備效益較低，因此本組建議使用於精密度高之實驗室或高風險之手術房等空間，同時兼顧安全性及工程成本的雙重考量！

五、觀測地震對建築物之作用力

作用力 $F = M \cdot a$ ，故觀測 a (加速度)便能推算地震對建築物之作用力，為減少設備製作加工不良所產生效能上的誤差，本組使用角度 0 水平地震力位移量的數據換算成加速度(如圖 44 所示)。

實驗數據顯示，如同報告書第8頁的滑動摩擦推論中提到，實驗組B在不同的震度下建築物的加速度正比於 μ (摩擦係數)，如圖44所示，其中第二階段數據偏高是因為靜摩擦係數大的原因，而第三至五階段數據裝置皆處於滑動狀態，則加速大小大致相同，故無論何種大小的地震規模，實驗組B只會以 $a = \mu \cdot g$ 之微小加速度的力量作用於建築物，如第五階段(七級劇震)起對照組A的加速度高達 631.7 cm/sec^2 ，而實驗組B的加速度仍維持著 31.6 cm/sec^2 ，兩者差距高達20倍之多，故而讓實驗組B的摩擦係數減小則差距會更大。

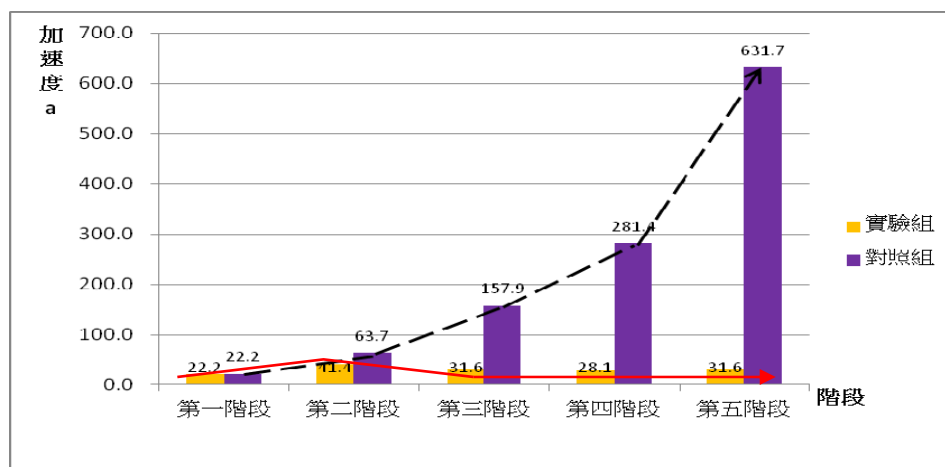


圖 44 對照組 A 與實驗組 B 在不同階段震動下加速度之關係圖

柒、結論

透過實驗我們獲得以下幾點結論：

- 一、震動台加速度第一階段 22.21 cm/sec^2 屬於三級震度(弱震)、第二階段 63.67 cm/sec^2 屬於四級震度(中震)、第三階段 157.91 cm/sec^2 屬於五級震度(強震)、第四階段 281.44 cm/sec^2 屬於六級震度(烈震)、第五階段 631.65 cm/sec^2 屬於七級震度(劇震)。
- 二、結合滑軌滑輪與汽缸構件組合成基座，利用雙向滑軌及全向滑輪抵抗不同方向的水平地震力，而使用汽缸構件形成避震器原理抵抗垂直地震力。
- 三、進行軸向水平地震力與 45 度側向水平地震力之位移量實驗後顯示，隨著模擬地震加速度愈大，實驗各組的水平位移量相較於對照組明顯降低許多，甚至靜止不晃動，在不同加速度都遠低於對照組之位移量許多。
- 四、實驗顯示當地表因地震向下移動時，因建築物的巨大的慣量，加上利用汽缸原理使經由止逆閥引入空氣到汽缸內，緩衝避震大幅減少建築物受垂直地震力的撞擊，甚至可消除撞擊力量於無形。由此得知，本組研究製作出的汽缸結構是可有效抵抗垂直地震力的傷害。
- 五、估算後得知，一支氣壓桿出力可達 3004.08 公斤，建築物模型換算成實際建築物之大小後自重為 321600 公斤，因此五層建築物需 107 根氣壓桿，理論上是可達成所需功能。
- 六、考量其高樓層自重大相對成本高，及低樓層所需抗震設備效益較低，因此本組建議使用於精密度高之實驗室或高風險之手術房等空間，同時兼顧安全性及工程成本的雙重考量。

本組研發出的『不動如山－滑缸型抗震設備』可有效抵抗地震力的破壞，延長建築物之使用年限，若裝置於不容許遭受晃動之醫院開刀房、軍火庫、化學工廠或高科技精密實驗室等地方，以創新技術有效阻隔各種形式地震力之破壞，當地震發生時可達到無感的境界，成為抗震設備最佳的方案選擇，確保人民生命財產的安全。在目前積極提倡智慧綠色建築的創新領域中，達到減少營建廢棄物量及提升安全舒適的生活環境，以符合智慧綠建築之永續宗旨。

捌、參考資料及其他

- 1.葉英珍、張敏哲・基礎物理 C I，(49~75 頁)・龍騰文化出版
- 2.汪國禎(2010)・汽車學 IV 柴油汽油引擎篇，(30-36 頁)・台南市；復文圖書
- 3.陳兩達、張簡宏裕、陳加宜(2013 年)・工程概論 I，(1-24 頁 101 大樓)・新北市・台科大
- 4.陳兩達、張簡宏裕、陳加宜・工程概論 II，(6-6 節 震動)・新北市・台科大
- 5.呂淮熏、郭興家、蘇寶林(2008)・氣壓工程學(修訂二版)・台北市；全華圖書
- 6.財團法人台灣營建研究中心(1986)・建築防震措施・台北市
- 7.地震・維基百科・取自 <http://ppt.cc/!30@>
- 8.交通部中央氣象局(2000 年 8 月 1 日)・地震震度分級表・取自 <http://ppt.cc/n6x4>
- 9.Hongming Hwang(2004 年 4 月 30 日)・隔震建築・取自 <http://ppt.cc/EMVz4>
- 10.菲謝蒂(2004 年)・建築的吸震裝置・取自 <http://sa.ylib.com/MagCont.aspx?Unit=columns&id=581>
- 11.撰文-永峻工程顧問公司王秋文工程師/審訂-永峻工程顧問公司謝紹松董事長/編修-張國儀
(2009 年 6 月)・如何幫大樓抗風防震？淺談台北 101 大樓阻尼器・取自 <http://ppt.cc/C8WA>
- 12.科學發展 443 期・(2009 年 11 月)・意外的產物—鐵氟龍・取自 <http://ppt.cc/KowdZ>
- 13.聚四氟乙烯・維基百科・取自 <http://ppt.cc/KNcw>
- 14.威峻軸承展業有限公司・直線軸承・取自 <http://www.wigogo.com.tw/?f=Linear-Bearings>
- 15.百度百科(2012 年 9 月)・直線軸承・取自 <http://baike.baidu.com/view/36384.htm>
- 16.陳詠智(2009)・單汽缸引擎振動特性之研究〔摘要〕・臺灣博碩士論文知識加值系統・取自 <http://ppt.cc/ppLzb>
- 17.舒小恩(2001 年)・進氣道角度對內燃機引擎汽缸內流場影響之研究〔摘要〕・臺灣博碩士論文知識加值系統・取自 <http://ppt.cc/t2Wbi>

【評語】 091202

針對實驗室及手術房等結構，提出金屬滑軌及氣壓缸組合之隔震構造。實驗過程以不同角度地震力之作用對此試驗裝置量測其位移量，用以了解建築物隔震之效果。實驗乃以縮尺模型進行，實驗步驟合理，唯不同之地震波及波長對滑桿之影響未予考量，而使用時維護之可行性仍須深入考慮。本裝置亦適合作為地震災害防治之教學教材。